

Lección 6.4
Diseño Robusto

Alfaomega

Alfaomega-UAQro CIMAT

2017

- En esta lección se muestra antecedentes de la importancia del diseño experimental.
- Se hace una relación de los diseños fraccionados.
- El enfoque principal es el diseño robusto, trabajado originalmente por Taguchi.
- Se ilustran varios ejemplos.
- Gran parte del material es tema del capítulo 5, este se puede considerar como una extensión.
- El diseño robusto, también comprende diseños factoriales, con factores en tres niveles. Por ejemplo para el caso robusto los L_9 , L_{27} , L_{12} .

Objetivos:

Describir que se comprende por un diseño robusto y su aplicación en la industria.

Presentar las ideas generales y la importancia para modelar la media y la varianza en procesos industriales.

Aplicar la técnica graficas en la optimización conjunta de la media y varianza.

Calidad y Confiabilidad

La calidad/confiabilidad es o (son) la (s) característica (s) relevante (s) que debe tener un producto para satisfacer las necesidades de los clientes.

Estas involucra el uso de herramientas y métodos estadísticos para reducir la variabilidad de un producto.

En particular la calidad fuera de línea:

- Se enfoca en el diseño del parámetro de un proceso (diseño robusto).
- Al diseño de tolerancias (especificaciones que debe cumplir un producto).

Modelo:

Y denota un característica de calidad asociada con un producto o proceso

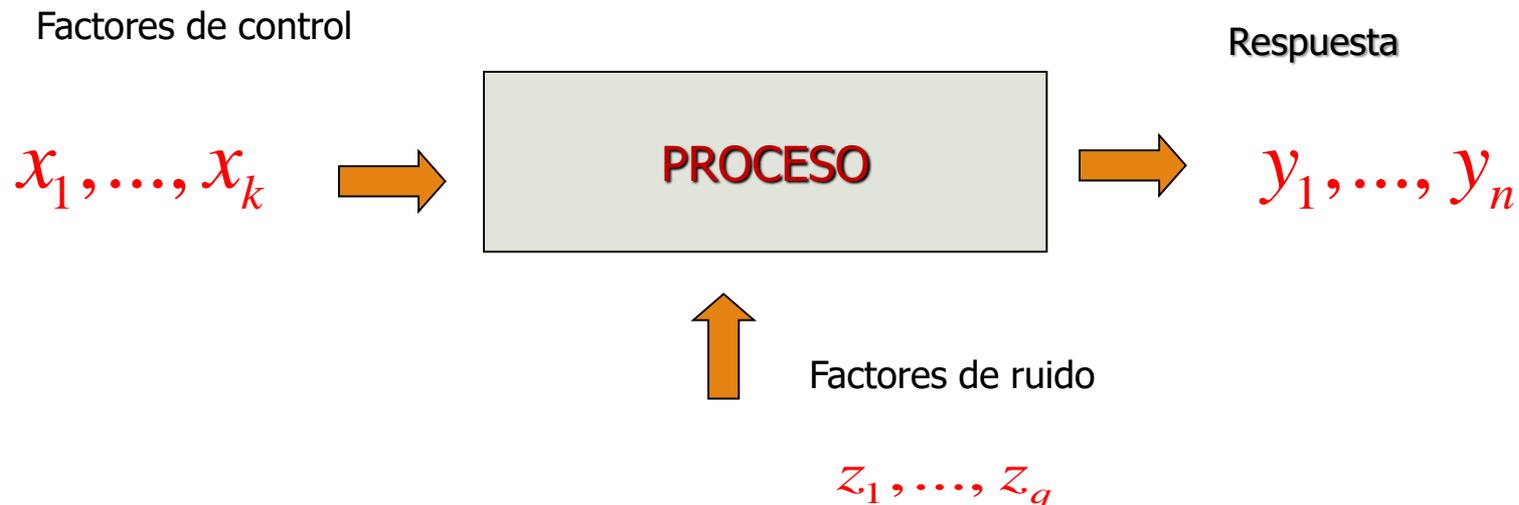
$$Y = f(x, z) + \varepsilon,$$

Donde x denota factores de control/diseño, e.e. y z denota variables de ruido. La $f(\#)$ representa de manera aproximada la relación funcional. Y mide la calidad del producto/proceso. ε es una va que...

Diseño Robusto:

La idea del diseño robusto es primero tratar de reducir el efecto de la variación sobre la respuesta Y debida a las variables de ruido z .

Esto se realiza explotando la relación funcional $f(\#)$ para determinar el escenario de los factores de control x , no sólo para obtener la respuesta media alrededor de un valor objetivo.



La experimentación:



- La ciencia se basa en dos actividades: percepción y reflexión. Las dos cosas tienen que ver con la realidad de este mundo y las dos son, en el fondo, dos formas de conversación.
- La percepción de la realidad empieza por ver, mirar (detener la vista) y observar (detener la mirada), pero suele acabar en algo más comprometido: experimentar. Para experimentar, el investigador provoca a la naturaleza, la naturaleza contesta lo que puede estimular al científico a una nueva provocación, es decir una nueva pregunta, es una conversación genuina en la que cada nuevo experimento depende del resultado anterior. Experimentar es conversar con la naturaleza.
- La reflexión es la actividad que media entre cada experimento y la creación de un resultado. (Jorge Wagensberg)
- Aprender y comprender también es conversación.

Pensamiento



La ciencia es conversación.

Aprender y comprender también es conversación.

Aprender y comprender quizá sea una actividad íntima. Se aprende y comprende en la soledad de la reflexión, pero siempre al final de algún tipo de conversación.

Siempre he creído que algo extraño ocurre en las escuelas y universidades, en las que el alumno escucha mucho y conversa poco.

Jorge Wagensberg.

Diseño robusto de parámetro

- El método de diseño de parámetros de Taguchi es una combinación de métodos de ingeniería y estadísticos para el mejoramiento de la productividad durante la fase de investigación y desarrollo, tal que permita la elaboración rápida y a bajo costo de productos de alta calidad.

Puntos innovadores de los métodos Taguchi

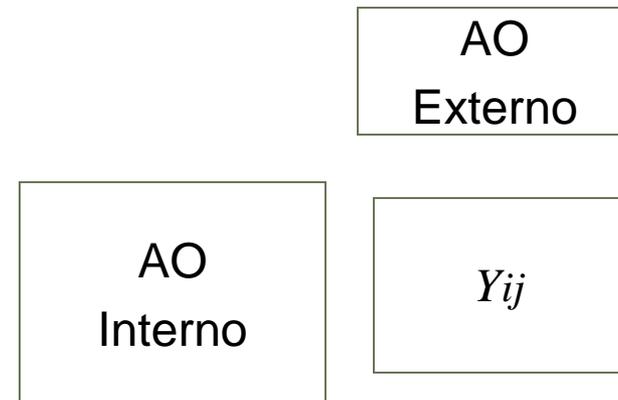
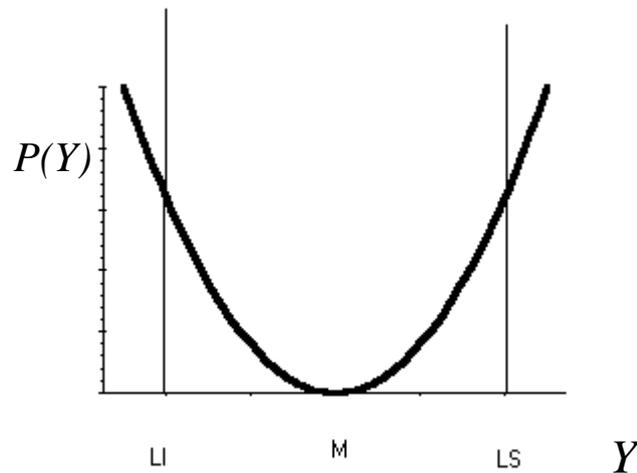
- Permite, de un modo económico, reducir la variación en el funcionamiento de un producto.
- Permite que las soluciones óptimas encontradas a nivel laboratorio sean transferibles a nivel manufactura y usuario.
- Sus puntos de vista:
 - A continuación escriba las ideas que tiene sobre el diseño robusto del parámetro
 - ¿Considera que domina este tema?
 - ¿Qué aspectos le gustaría profundizar o conocer sobre este diseño robusto?

Filosofía de Calidad

• Metodología

La calidad se mide como la desviación de la característica a su valor M .

- CC fuera de línea
- Diseño de parámetro
- Arreglos ortogonales
- Ruido interno/Ruido Externo
- La razón señal/ Ruido
- Diseño de tolerancia



Para determinar valores nominales y tolerancias con el fin de obtener parámetros relevantes para el proceso y producto, Taguchi propone tres etapas en el desarrollo del diseño.

Diseño del sistema

- **Involucra la innovación y requiere del conocimiento científico y de ingeniería.**

Diseño de parámetro

- **Determina los valores de los parámetros del producto y los niveles de operación del proceso que son menos sensibles a cambios ambientales.**

Diseño de tolerancias

- **Se usa para reducir la variación que se obtuvo en el diseño de parámetro.**

Comparación de los métodos Taguchi y los métodos de diseño de experimentos y análisis estadístico (digamos clásico)

Método Taguchi

- Razón señal a ruido (S/R)
- Arreglos ortogonales
- Gráficas lineales y tablas de interacción
- Doble arreglo ortogonal
- Optimización del proceso
- Análisis de la varianza
- Procedimiento en dos estados usando variables de señal y ruido

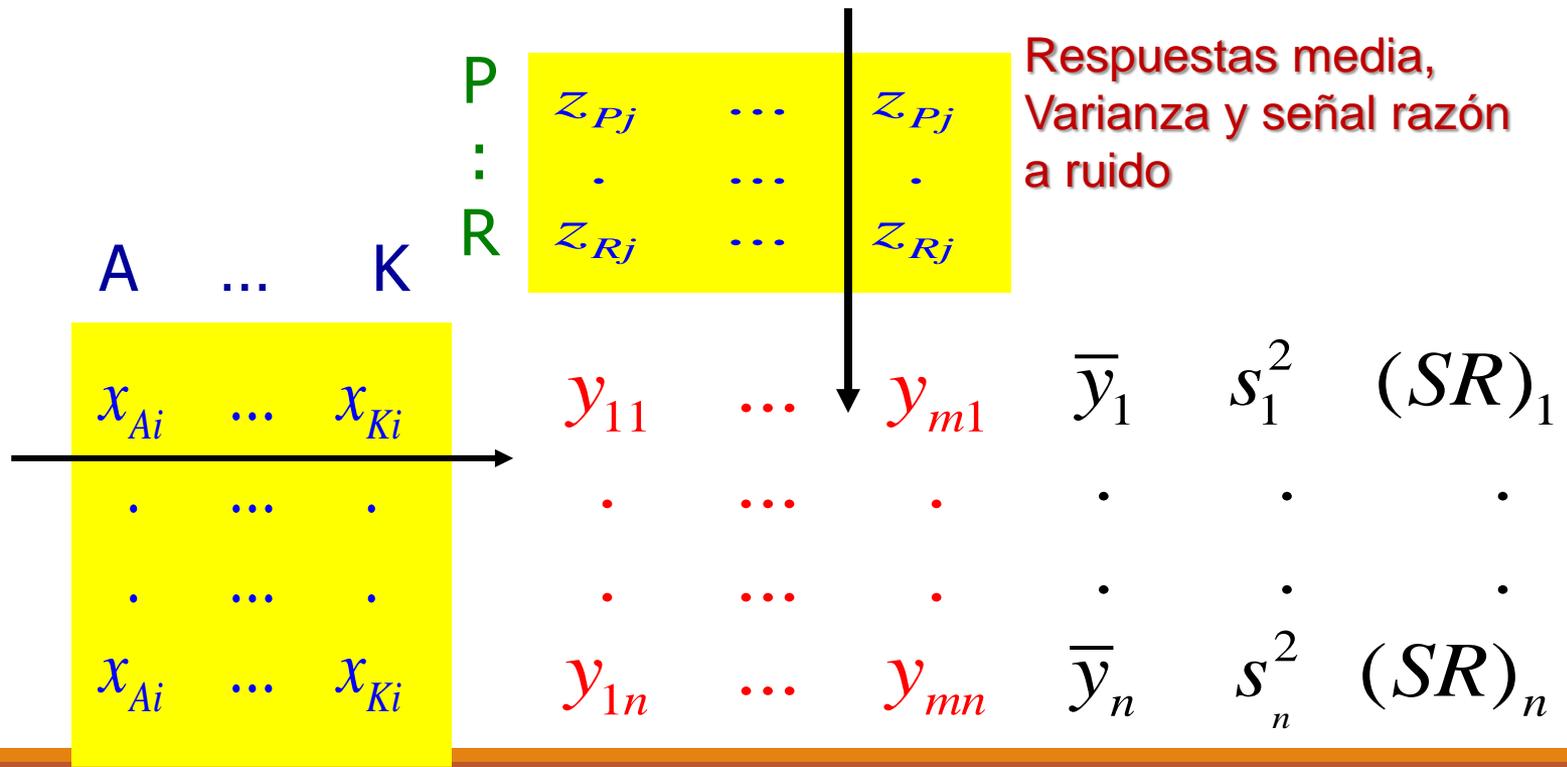
Método estadístico

- transformaciones apropiadas: análisis de la media $\ln(\text{var})$
- Selección de factores: diseños factoriales completos y fraccionados en dos niveles
- Estructura alias
- Análisis de componentes de varianza; diseños anidados y en parcelas divididas
- evop, msr, métodos por computadora.
- Papel Normal, técnicas gráficas, regresión
- Análisis separado de media y varianza, importancia de las interacciones.

¿Cómo generar la respuesta?

Se plantea un diseño experimental físico para obtener la respuesta en escenario experimental de los factores de control.

En esta situación usualmente las variables de ruido son controladas y sus efectos estudiados sistemáticamente.



¿Cómo se representa un arreglo ortogonal?

¿Qué es un arreglo ortogonal?

El diseño arreglo ortogonal $L_8(2^7) = AO_8(2^7)$

Columnas	1	2	3	4	5	6	7	
	1	1	1	1	1	1	1	y1
	1	1	1	2	2	2	2	y2
	1	2	2	1	1	2	2	y3
	1	2	2	2	2	1	1	y4
	2	1	2	1	2	1	2	y5
	2	1	2	2	1	2	1	y6
	2	2	1	1	2	2	1	y7
	2	2	1	2	1	1	2	y8

	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
--	---	---	----	---	----	----	-----

El diseño arreglo ortogonal $L_8(2^7) = AO_8(2^7)$

I	1	2	3	4	5	6	7	
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
1	-1	-1	-1	1	1	1	1	
1	-1	1	1	-1	-1	1	1	
1	-1	1	1	1	1	-1	-1	
1	1	-1	1	-1	1	-1	1	
1	1	-1	1	1	-1	1	-1	
1	1	1	-1	-1	1	1	-1	
1	1	1	-1	1	-1	-1	1	

	A	B	-AB	C	-AC	-BC	ABC
--	---	---	-----	---	-----	-----	-----

El diseño 2^3 equivalente

	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1

2^3_R Factorial completo

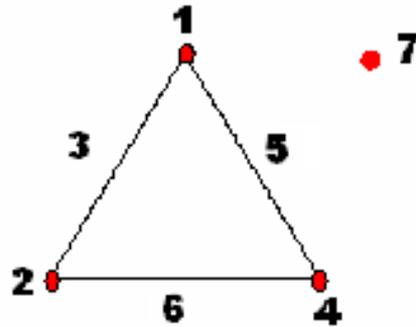
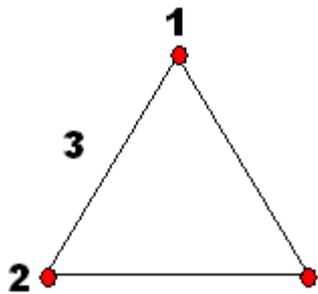
El diseño arreglo ortogonal $L_8(2^7) = AO_8(2^7)$

¿Cuál fue la estrategia de Taguchi para generar un arreglo ortogonal?

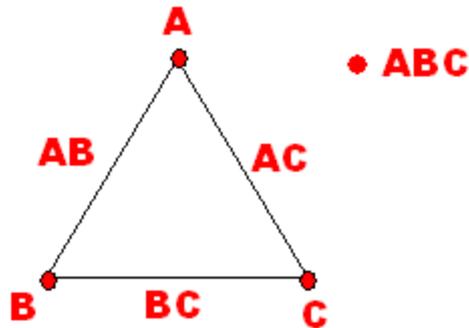
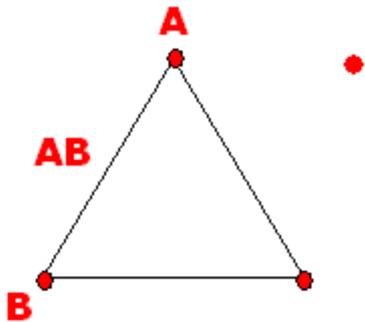
Mediante tablas de interacción

Mediante gráficas lineales

	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)



• 7



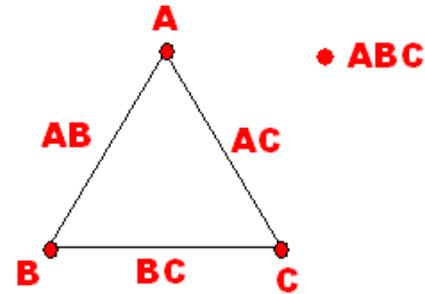
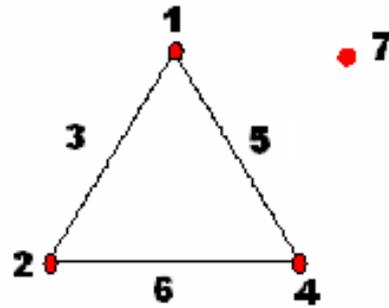
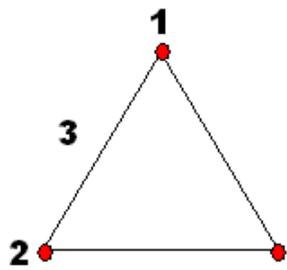
• ABC

¿Cuál fue la estrategia de Taguchi para generar un arreglo ortogonal?

Mediante tablas de interacción

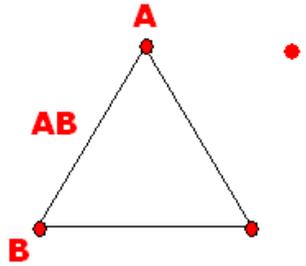
	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)

1	2	3	4	5	6	7
1						
1	1	1	2	2	2	2
1	2	2	1	1	2	2
1	2	2	2	2	1	1
2	1	2	1	2	1	2
2	1	2	2	1	2	1
2	2	1	1	2	2	1
2	2	1	2	1	1	2



Columnas

1 2 3 4 5 6 7



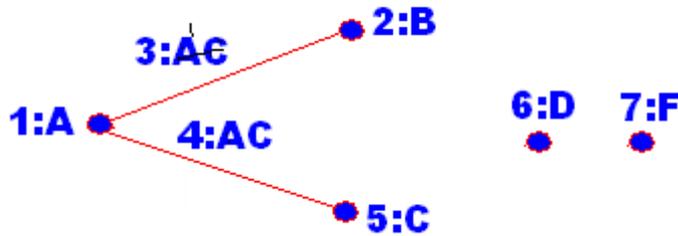
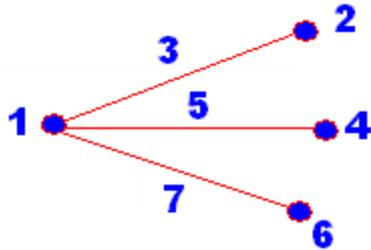
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	2	2	2	2	2
1	2	2	1	1	2	2	2
1	2	2	2	2	1	1	1
2	1	2	1	2	1	2	2
2	1	2	2	1	2	2	1
2	2	1	1	2	2	1	1
2	2	1	2	1	1	2	2

	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
--	---	---	----	---	----	----	-----

El diseño arreglo ortogonal $L_8(2^7) = AO_8(2^7)$

¿Cuál fue la estrategia de Taguchi para generar un arreglo ortogonal?

Mediante gráficas lineales

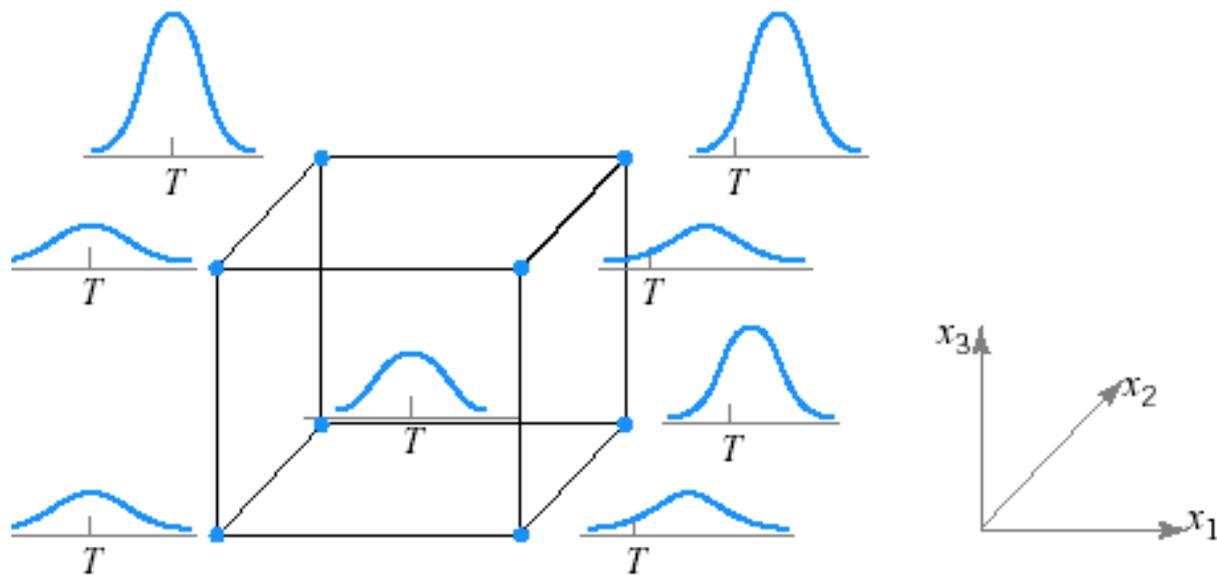


Mediante tablas de interacción

	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)

	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1

2^3_R Factorial completo



Un experimento factorial con tres factores

	A	B	C	CD AB	BD AC	AD BC	D ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1

$2^{4-1}_{R_1}$ Factorial Fraccionado

	A	B	C	D AB	E AC	DE BC	BE CD ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1

$2_{R_2}^{5-2}$ Factorial Fraccionado

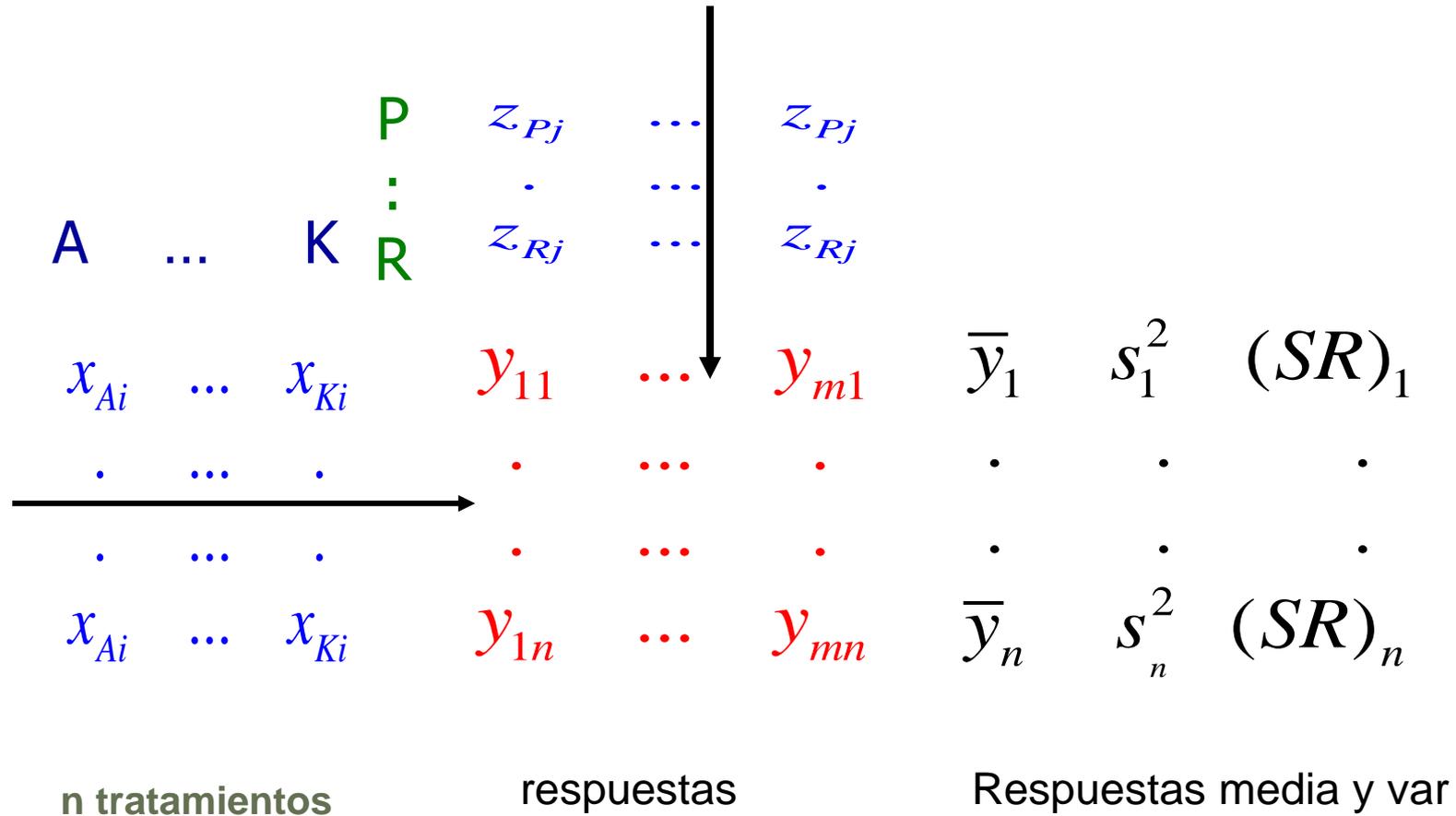
	A	B	C	D AB	E AC	F BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1

$2_{R_2}^{6-3}$ Factorial Fraccionado

	A	B	C	D AB	E AC	F BC	G ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1

$2_{R_2}^{7-4}$ Factorial Fraccionado

Diseño robusto, esquemas experimentales y señal razón a ruido.



¿Cómo estimar los efectos de un factor?

Descripción del análisis estadístico de un proceso

Razones señal a ruido

DISEÑO ROBUSTO. El siguiente ejemplo tiene como propósito identificar factores de dispersión comparando las medidas propuestas por Taguchi y el logaritmo de la desviación estándar. Se dan cálculos sólo se pide su interpretación.

Medidas propuestas por Taguchi, llamadas: razón señal a ruido.

1. Para minimizar la respuesta (**Lo más pequeño es mejor**). Taguchi trata este caso como si hubiera un valor M (target) de cero para la respuesta. así la función de pérdida cuadrática es $E_z(y-0)^2$ conduce al siguiente criterio de evaluación:

$$S / R_3 = -10 \log_{10} \frac{1}{r} \sum_i^r (y_i^2)$$

El planteamiento viene de la necesidad de encontrar la combinación x en los niveles de los factores de control que minimice la esperanza del error cuadrático $E_z y^2$, donde E_z implica la esperanza a través de la distribución de los factores de ruido.

Razones señal a ruido

Así el cálculo de S/R se hace sobre las n respuestas en el arreglo externo, a la vez este representa la respuesta en cada combinación del arreglo interno. Dado que se usa la transformación $-10\log_{10}$ entonces lo que se busca es maximizar S/R .

2. Para maximizar la respuesta (**Lo más grande es mejor**). Este caso se trata de manera similar al anterior, sólo que la respuesta y_i es reemplazada por $1/y_i$. así la razón señal ruido S/R_1 es motivada por: $E_z(1/y_i)^2$. La expresión para S/R_1 es:

$$S / R_2 = -10\log_{10} \frac{1}{r} \sum_i^r \left(\frac{1}{y_i^2} \right)$$

3. Para una respuesta objetivo (**El objetivo (target) es mejor**). En este caso es determinar el valor de la combinación de los factores de control tal que se obtenga el valor M para la respuesta.

Razones señal a ruido

Desviaciones a este valor M no son deseables. Taguchi sugiere una razón señal a ruido para casos en los que la respuesta desviación estándar se relaciona a la media. Como un resultado natural S/R_m , involucra al coeficiente de variación muestral S/\bar{y} .

$$S / R_1 = 10 \log_{10} \frac{\bar{y}^2}{S^2}$$

Uno se puede preguntar sobre la utilidad de las S/R . El fin principal de las S/R en el diseño robusto es ofrecer un criterio fácil que tome en cuenta la media y la varianza del proceso. Esto ha generado un fuerte debate y crítica en la literatura estadística sobre la información que ofrecen estas S/R . En resumen el uso de S/R no es garantía que se tenga una información segura con respecto a la media y varianza del proceso.

Razones señal a ruido

Desagregar aquellos factores de control que afectan la media (efectos de localización) y aquellos factores que afectan la varianza (efectos de dispersión) es muy importante para entender el proceso. Por ejemplo S/R se puede describir como

$$S / R_1 = 10 \log \bar{y}^2 - 10 \log S^2$$

Maximizar esta expresión no aísla o no identifica que factores de control son de localización y cuales son de dispersión. De manera análoga lo podemos encontrar para la expresión $S / R_3 = -10 \log \frac{1}{r} \sum_i^r (y_i^2)$. Mientras $\frac{1}{r} \sum_i^r (y_i^2)$ considera la variabilidad alrededor de $M = 0$, la S/R_s no puede separar los efectos de localización y dispersión. Observe que:

$$\frac{1}{r} \sum_i^r (y_i^2) = \bar{y}^2 + (1 - \frac{1}{r}) S^2$$

Estructura de un trabajo de investigación, una propuesta

- Elección del tema.
- Delimitación del tema:
 - 1. Revisión del conocimiento, 2. Alcance y límites
- Problema: 1. Identificación, 2. Título, 3. Planteamiento: →
- Objeto y justificación del problema-proyecto
 - Objetivos del problema-proyecto: Generales, específicos.
- Marco Teórico
 - 1. Antecedentes, 2. Definición conceptual, 3. Hipótesis, 4. Variables
- Metodología
 - 1. Población y muestra o experimento, 2. Recolección de datos, 3. Procesamiento de datos
- Informe
 - Presentación de resultados
 - Revisión bibliográfica
- Aspectos operativos del problema-proyecto
 - Descripción del plan de actividades. Recursos
 - Cronograma de actividades.

Descripción
Elementos
Formulación

Ejemplo

El nominal es mejor. En un proceso se consideran los siguientes tres factores: la formulación, la velocidad y la temperatura para evaluar la resistencia de un material, se tiene presente la existencia de tres factores de ruido, la cantidad de humedad que interviene en el proceso, el grosor del material y la dureza del material. En resumen:

Los factores de diseño:

A: Formulación	dos niveles
B: Velocidad	dos niveles
C: Temperatura	dos niveles

Los factores de ruido:

H: Humedad	dos niveles
I: Grosor del material	dos niveles
J: Dureza del material	dos niveles

Ejemplo

Los factores de diseño y de ruido se les asigna en un arreglo ortogonal L_4 . Luego se calcula la media y la varianza en cada renglón, con estos valores se obtiene el valor de la S/R_1 .

DISEÑO			J	1	2	2	1	RESULTADOS		
			I	1	2	1	2			
			H	1	1	2	2			
Exp	A	B	C	DATOS				Y	S'	S/R
1	1	1	1	37	38	36	37	37.00	0.67	33.12
2	1	2	2	35	39	40	33	36.75	10.92	20.92
3	2	1	2	45	44	44	46	44.75	0.92	33.39
4	2	2	1	41	52	46	42	45.25	24.92	19.15

1. Bosqueje una gráfica de dispersión para los tres factores, ¿qué observa?
2. Analice los factores que tengan efecto en la respuesta considerando S/R_1 . Haga la gráfica del efecto de los factores a partir de la última tabla.

Ejemplo

Exp	A	B	C	S/R ₃
1	1	1	1	33.12
2	1	2	2	20.92
3	2	1	2	33.39
4	2	2	1	19.15

Factor			
Nivel	A	B	C
1	27.0	33.3	26.2
2	26.2	20.0	27.1

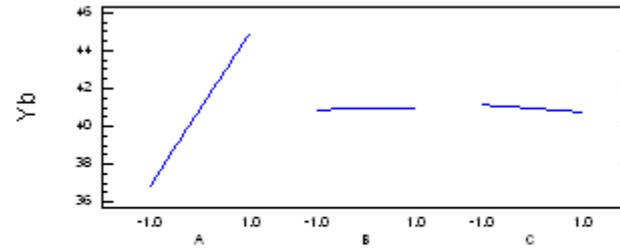
3. Los factores que se usan para ajustar la media, se reproducen en tablas similares a las anteriores pero, ahora la respuesta es la media. Haga las gráficas. ¿Qué factores influyen en la media?

Exp	A	B	C	Y
1	1	1	1	37.00
2	1	2	2	36.75
3	2	1	2	44.75
4	2	2	1	45.25

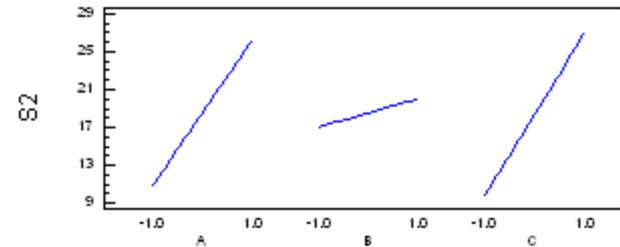
Factor			
Nivel	A	B	C
1	36.80	40.88	41.13
2	45.00	41.00	40.75

4. ¿Qué factores influyen en la varianza?
5. Obtenga sus conclusiones

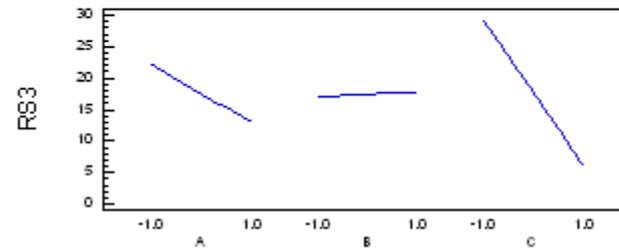
		Factor		
Nivel		A	B	C
1		36.80	40.88	41.13
2		45.00	41.00	40.75



		Factor		
Nivel		A	B	C
1		10.77	17.06	9.85
2		26.24	20.17	27.09

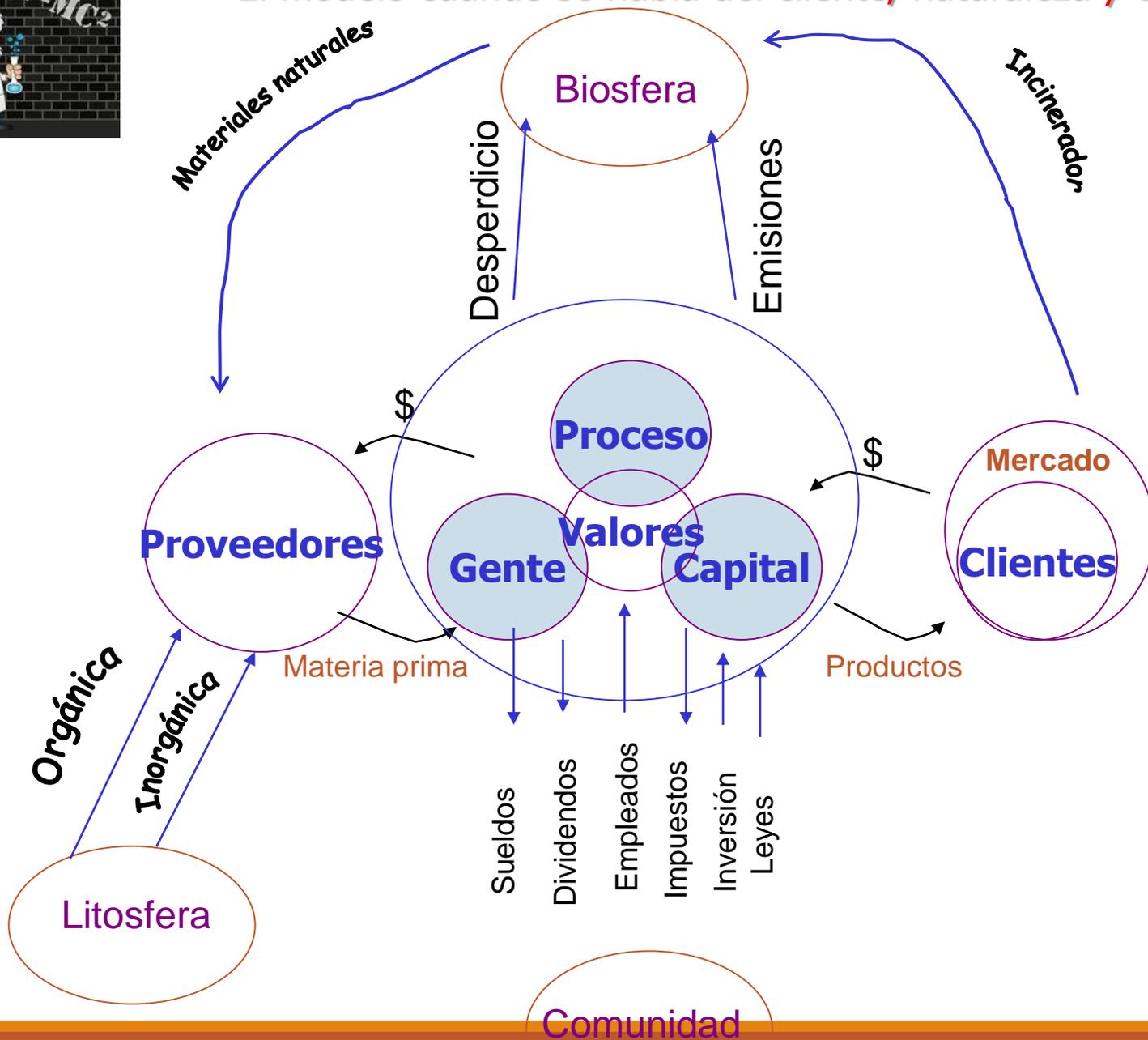


		Factor		
Nivel		A	B	C
1		27.0	33.3	26.2
2		26.2	20.0	27.1



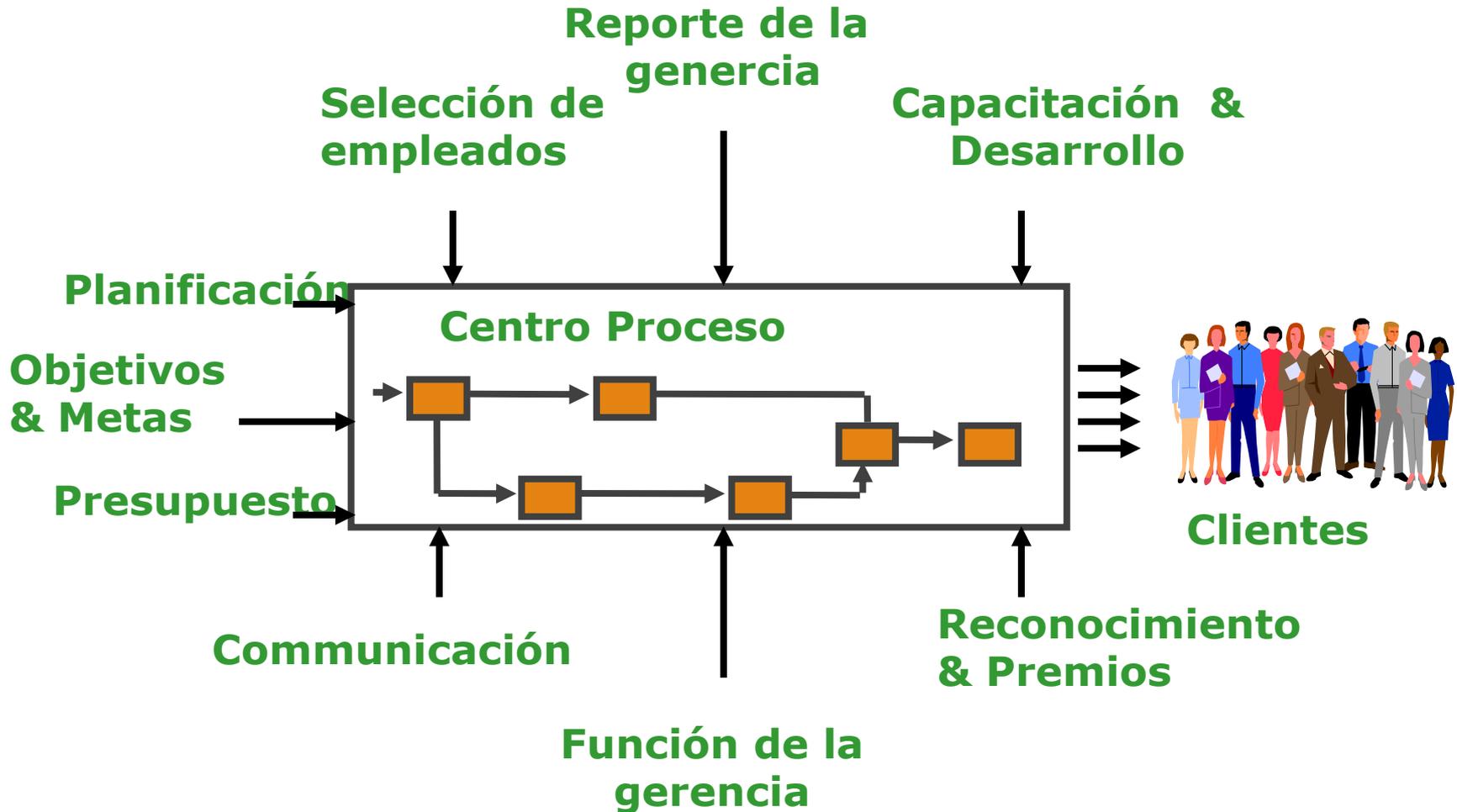
$$Y_{op} = \bar{Y} + (\bar{A}_2 - \bar{Y}) + (\bar{B}_2 - \bar{Y}) + (\bar{C}_1 - \bar{Y}) = 45.25$$

El modelo cuando se habla del cliente, naturaleza y comunidad



Comunidad

Procesos gerenciales



Ejemplo 2

SOBRE LA VARIABILIDAD.

Hemos visto la estrategia de fraccionar experimentos 2^k , los diseños de Plackett-Burman, los correspondientes arreglos ortogonales (Taguchi) por ejemplo: $AO_8(2^7)$. Experimentando con estos diseños y mediante réplicas (repeticiones), se han identificado factores que afectan a la media y a la varianza y se ha modelado la media y la varianza. Se estudio el procedimiento para detectar efectos de dispersión, es decir, identificar que factores tienen efecto en la varianza.

Aquí se quiere estudiar que factor tiene efecto sobre la varianza sin tener réplicas.

En un procedimiento para fabricar espuma y la característica de calidad es el porcentaje del encogimiento de la espuma, se requiere que lo más pequeño es lo mejor. Los factores de control tienen dos niveles, el primer nivel es con el que actualmente opera el proceso, el segundo nivel es una nueva propuesta, el detalle de los factores es:

A: Tiempo de Molde

B: Temperatura de la Clavija

C: Razón de Mezclado

D: Presión de Inyección

Diseño 2^4 , 2^{5-1} , $AO_{16}(2^{15})$, $PB_{16}(2^{15})$.

Trat	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	resp
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	9.45
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	10.20
3	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	9.59
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	9.57
5	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	7.65
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	6.59
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	7.28
8	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	7.27
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	8.38
10	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	7.62
11	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	7.99
12	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	8.15
13	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	8.50
14	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	7.43
15	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	7.74
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7.81

Realizar el análisis estadístico de los resultados de este experimento:
Ver que factores tienen efecto y construir el modelo.

Presente y discuta los resultados

Apéndice

1. Usando obtenga el diagrama de dispersión.
2. Para cada nivel de cada factor calcule la varianza de los residuales, es decir $S^2(+)$ y $S^2(-)$.
3. Calcule la diferencia entre $S^2(+)$ y $S^2(-)$, ordene estas diferencias.
4. Estime el estadístico $Z = \log_e \frac{S^2(+)}{S^2(-)}$.
5. En que niveles de los factores se encuentra la menor variación.
6. En que niveles de los factores con el menor encogimiento.
7. Use como respuesta en el diseño anterior $w = \log_e(\text{abs}(y - \hat{y}))$, use esta respuesta para establecer que factores afectan a la variable respuesta w . ¿Este resultado difiere del encontrado en el punto 5?
8. Obtenga sus conclusiones.

Análisis estadístico

¿Cuál es el modelo? $\hat{y} = 8.20 - 0.67C - 0.25D + 0.59CD$

¿Cuál es uno de los residuales?

$$y - \hat{y} = y - (8.20 - 0.67(-1) - 0.25(-1) + 0.59(-1)(-1))$$

$$y - \hat{y} = 9.45 - 9.7075 = -0.2525 \quad \text{Ver siguiente transparencia}$$

Cálculo de Z para cada factor

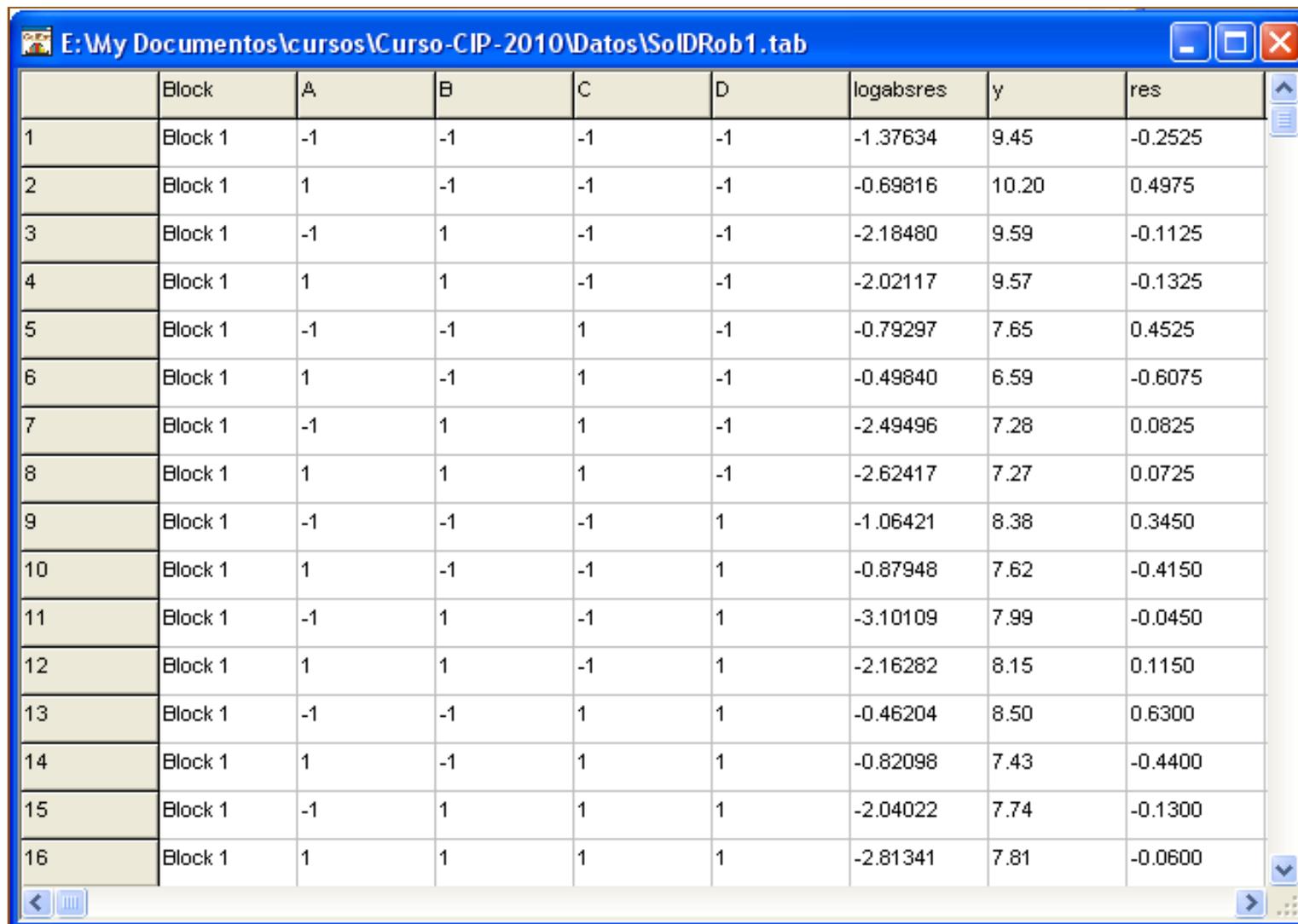
$$Z = \log_e \frac{s^2(+)}{s^2(-)}$$

Se observa que el Factor B tiene un efecto de dispersión.

¿Por qué?

	$s^2(-)$	$s^2(+)$	
A	0.101	0.129	$z = \log\left(\frac{0.129}{0.101}\right) = 0.24$
B	0.252	0.010	$z = \log\left(\frac{0.010}{0.252}\right) = -3.23$
C	0.093	0.171	$z = \log\left(\frac{0.171}{0.093}\right) = 0.60$
D	0.132	0.131	$z = \log\left(\frac{0.131}{0.132}\right) = 0.01$

Matriz diseño, observaciones, residuales y log(abs(residuales))



The image shows a spreadsheet window titled "E:\My Documentos\cursos\Curso-CIP-2010\Datos\SoldRob1.tab". The spreadsheet contains 16 rows of data. The columns are: Block, A, B, C, D, logabsres, y, and res. The data is as follows:

	Block	A	B	C	D	logabsres	y	res
1	Block 1	-1	-1	-1	-1	-1.37634	9.45	-0.2525
2	Block 1	1	-1	-1	-1	-0.69816	10.20	0.4975
3	Block 1	-1	1	-1	-1	-2.18480	9.59	-0.1125
4	Block 1	1	1	-1	-1	-2.02117	9.57	-0.1325
5	Block 1	-1	-1	1	-1	-0.79297	7.65	0.4525
6	Block 1	1	-1	1	-1	-0.49840	6.59	-0.6075
7	Block 1	-1	1	1	-1	-2.49496	7.28	0.0825
8	Block 1	1	1	1	-1	-2.62417	7.27	0.0725
9	Block 1	-1	-1	-1	1	-1.06421	8.38	0.3450
10	Block 1	1	-1	-1	1	-0.87948	7.62	-0.4150
11	Block 1	-1	1	-1	1	-3.10109	7.99	-0.0450
12	Block 1	1	1	-1	1	-2.16282	8.15	0.1150
13	Block 1	-1	-1	1	1	-0.46204	8.50	0.6300
14	Block 1	1	-1	1	1	-0.82098	7.43	-0.4400
15	Block 1	-1	1	1	1	-2.04022	7.74	-0.1300
16	Block 1	1	1	1	1	-2.81341	7.81	-0.0600

Análisis de la respuesta $y = \log(\text{abs}(\text{residuales}))$

Dependent variable: Response 1

Parameters	Effect	Coefficient	Standard Error	Statistical	p-value
Constant	-1.6272	-1.6272	0.0943	-17.2544	0.0000
A	0.1248	0.0624	0.0943	0.6614	0.5219
B	-1.6063	-0.8031	0.0943	-8.5161	0.0000
C	0.1176	0.0588	0.0943	0.6236	0.5456
D	-0.0817	-0.0408	0.0943	-0.4329	0.6734

Model

$$\text{Response 1} = -1.6272 + 0.0624*A - 0.8031*B + 0.0588*C - 0.0408*D$$

Analysis of variance (ANOVA)

Source	SC	GL	CM	RV	p-value
Model	10.4645	4	2.6161	18.3846	0.0001
Residual	1.5653	11	0.1423		
Total	12.0298	15			

Confidence Intervals:

Parameter	Estimator	Standard error	LL	UL
Constant	-1.6272	0.0943	-1.8346	-1.4198
A	0.0624	0.0943	-0.1450	0.2698
B	-0.8031	0.0943	-1.0105	-0.5957
C	0.0588	0.0943	-0.1486	0.2662
D	-0.0408	0.0943	-0.2482	0.1666

	A	B	C	D
Correlation coefficient	0.0719	-0.9262	0.0678	-0.0471

$$R^2 = 0.8699$$

$$\text{Standard Error, } S = 0.3772$$

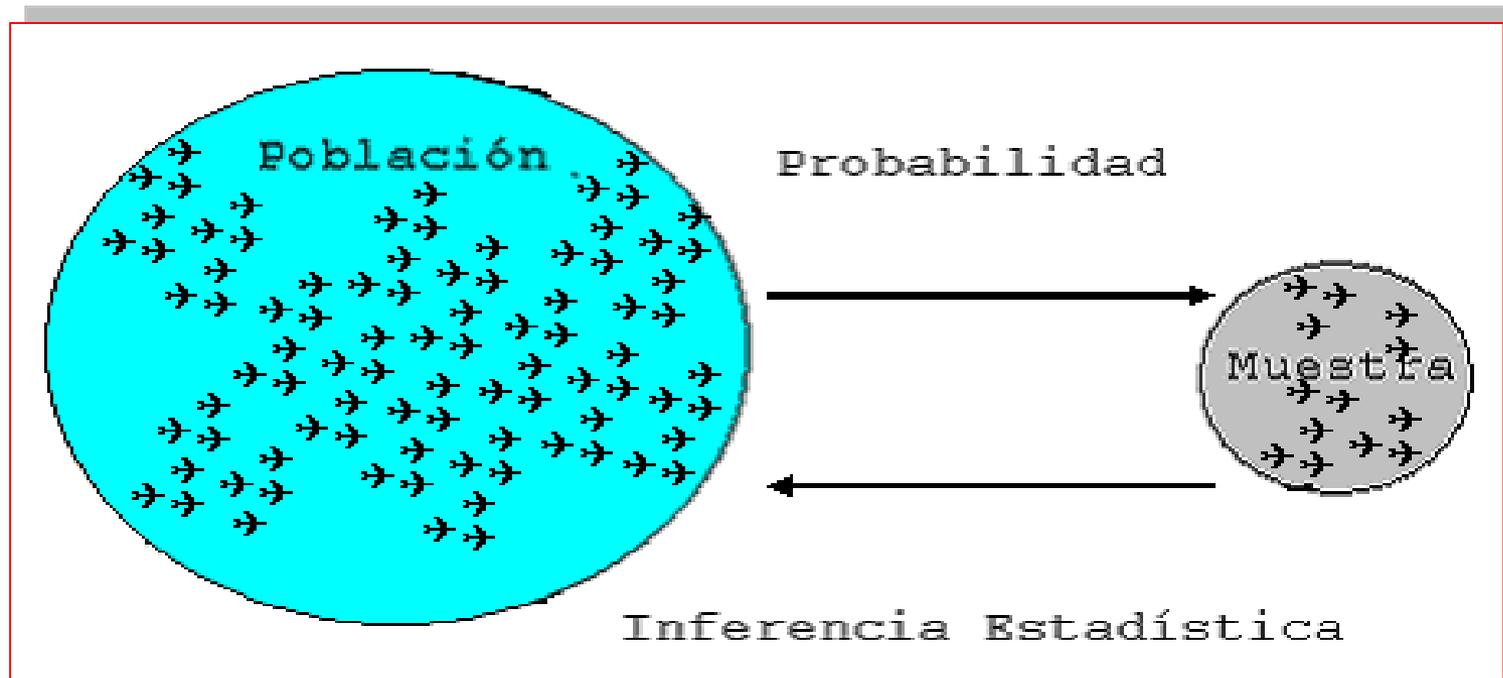
$$R^2_{(\text{adj.})} = 0.8226$$

Conclusiones

Estudios e investigación:

- Tanto las ciencias sociales como las ciencias naturales inician estudios o realizan investigación de una forma controlada, sistematizada, crítica, con el fin primordial de aprobar o desechar hipótesis como explicativas de los fenómenos del comportamiento del ser humano.
- Su punto de partida está también en la observación de los hechos, en la formulación del problema, en la estructuración de la hipótesis y en la búsqueda de pruebas para confrontar esas hipótesis, con el fin de establecer una ley o norma explicativa de la conducta social de los individuos.

Ideas generales



La investigación cuantitativa

trata de determinar la fuerza de asociación o correlación entre variables, la generalización y objetivación de los resultados a través de una muestra para hacer inferencia a una población de la cual toda muestra procede. Tras el estudio de la asociación o correlación pretende, a su vez, hacer inferencia causal que explique por qué las cosas suceden o no de una forma determinada.

Tipos de investigación cuantitativa

Investigación descriptiva

Se refiere a la etapa preparatoria del trabajo científico que permita ordenar el resultado de las observaciones de las conductas, las [características](#), los [factores](#), los procedimientos y otras variables de fenómenos y hechos. Este tipo de investigación no tiene hipótesis explicada.

Investigación analítica

Es un procedimiento más complejo con respecto a la investigación descriptiva, que consiste fundamentalmente en establecer la comparación de variables entre grupos de estudio y de control sin aplicar o manipular las variables, estudiando éstas según se dan naturalmente en los [grupos](#). Además, se refiere a la proposición de [hipótesis](#) que el investigador trata de [probar](#) o [negar](#).

Investigación experimental

Es un procedimiento metodológico en el cual un grupo de individuos o conglomerado, son divididos en forma aleatoria en grupos de estudio y control y son analizados con respecto a un factor o medida que el investigador introduce para [estudiar](#) y [evaluar](#).

La estadística

La investigación cuantitativa desarrolla y emplea modelos matemáticos, teorías e hipótesis que competen a los fenómenos naturales.

En particular la estadística es una disciplina matemática que tiene una serie de subdisciplinas, las cuales disponen de métodos apropiados que se aplican extensamente en los diferentes tipos de investigación cuantitativa.

Ejemplo 3

MAS SOBRE EL DISEÑO ROBUSTO.

“Los más pequeño es lo mejor”. En un proceso de moldeo por inyección un ingeniero tiene problemas asociados al encogimiento del producto después del curado. Este encogimiento contribuye a una creciente variabilidad del producto. el objetivo es determinar que factores contribuyen a disminuir el encogimiento y reducir la variabilidad del producto.

A: Tiempo de ciclo

C: Contenido de la Mezcla

E: Temp. Estado Pre calentamiento

G: Tamaño de la Puerta

I: Presión de Inyección

K: Densidad

B: Temperatura de Molde

D: Razón de Mezclado

F: Grosor Liberador Molde

H: Curva Liberador Molde

J: Velocidad del Tornillo

El factor de ruido es la instalación y denotada por M, se emplea un arreglo ortogonal L_{12} , mostrado en la siguiente tabla, coincide con el diseño Plackett-Burman, se presenta ordenado como lo propuso Taguchi.

Ejemplo 3

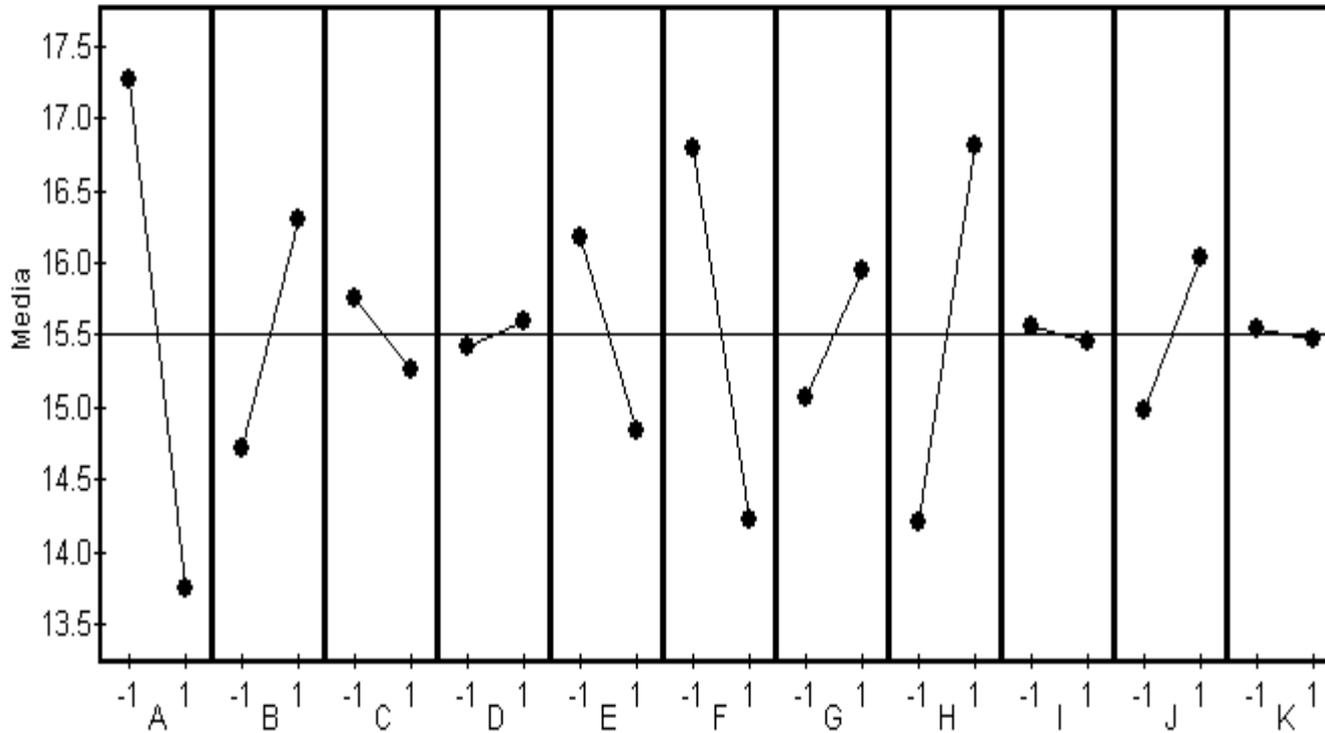
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	M1	M2	M3	actual
1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	0.18	0.19	0.11	15.7
1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0.13	0.13	0.11	18.2
-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.15	0.13	0.14	17.0
1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0.24	0.32	0.28	11.0
1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	0.24	0.18	0.16	14.1
1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0.22	0.25	0.22	12.7
-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	0.09	0.18	0.19	15.9
-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	0.08	0.12	0.12	19.3
-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	0.18	0.17	0.18	15.1
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	0.24	0.32	0.30	10.8
-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	0.08	0.11	0.11	19.9
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.13	0.18	0.14	16.4

Cálculo de S/R_3

Por ejemplo para el tratamiento 12: $S / R_3 = -10 \log \left[\frac{0.13^2 + 0.18^2 + 0.14^2}{3} \right] = 16.4$

Complete la tabla de abajo para la razón señal-ruido S/R_3 y el promedio para cada factor, represente sus resultados en unos gráficos, finalmente determine el óptimo.

Efectos de cada factor



$$\bar{y} = \frac{185}{12} = 15.51$$

$$\bar{A}_1 = 17.5$$

$$\bar{B}_2 = 16.4$$

$$\bar{E}_1 = 16.2$$

$$\bar{F}_1 = 16.8$$

$$\bar{H}_2 = 16.8$$

$$(S/R_3)_{opt} = \bar{y} + (\bar{A}_1 - \bar{y}) + (\bar{B}_2 - \bar{y}) + (\bar{E}_1 - \bar{y}) + (\bar{F}_1 - \bar{y}) + (\bar{H}_2 - \bar{y})$$

$$(S/R_3)_{opt} = 21.66$$

Ejemplo 3

Situación previa al experimento

Es natural estudiar la posibilidad de un ahorro económico cuando se han cambiado las condiciones del proceso, en esta etapa se ve otra de las ventajas que tiene la técnica desarrollada por Taguchi, porque aquí se pueden ligar los resultados del experimento y los conceptos de la función de pérdida.

Se sabe que proceso que ha estado operando bajo ciertos parámetros ya establecidos, se toma una muestra, produciendo la siguiente información:

0.16	0.13	0.16	0.18	0.13	0.16	0.18	0.2
0.16	0.13	0.14	0.15	0.09	0.16	0.14	0.14
0.14	0.16	0.12	0.15	0.13	0.15	0.13	0.14

De los $n = 24$ datos, se tiene que la media es $\bar{y} = 0.147$. Empleando la expresión de lo más pequeño es mejor se puede calcular la razón señal a ruido para esta situación del proceso:

$$(S / R_3)_{pro} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} y^2 \right]$$

Ejemplo 3

$$(S / R_3)_{pro} = -10 \log\left(\frac{1}{24}\right)[0.16^2 + 0.13^2 + 0.16^2 + \dots + 0.14^2]$$

$$(S / R_3)_{pro} = -10 \log(0.0221) = 16.55$$

Cálculo de la función de pérdida

La expresión de la función de pérdida para el caso que se está tratando es $P(y) = ky^2$.

Para calcular k , se tiene que proponer un precio y , la distancia entre el límite de especificación adecuado para el más pequeño es lo mejor y la media del proceso.

Así la pérdida que se considera es de 8.5 pesos y el límite en 0.22. El valor de k es:

$$k = \frac{P_0(y)}{V^2} = \frac{8.5}{(0.22)^2} = 175.6$$

se tiene que la función de pérdida es:

$$P(y) = k \left(\frac{1}{n} \sum_i y_i^2 \right) = kDMC = 175.6 * (0.0221) = 3.88$$

$$DMC = \frac{1}{n} \sum_i y_i^2$$

Ejemplo 3

Interpretación.

Este resultado indica que se tiene una pérdida de 3.90 por pieza.

¿Qué beneficio se tiene entre el proceso actual y el resultado experimental?

$$\text{ganancia} = (S / R_3)_{opt} - (S / R_3)_{pro} = 21.66 - 16.55 = 5.11$$

Con la finalidad de obtener una estimación en términos de pesos, se necesita calcular el valor de *DMC* (la desviación media cuadrática) para el óptimo alcanzado al realizar el diseño, el procedimiento es como sigue:

$$(S / R_3)_{opt} = 21.66 = -10 \log(DMC)$$

$$DMC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2$$

$$\log(DMC) = \frac{21.66}{-10} = -2.166$$

$$DMC = \text{anti log}(-2.166) = 0.00682$$

la pérdida que se obtiene si el proceso funciona con los parámetros obtenidos del diseño es:

$$P(Y) = kDMC = 175.6 * (0.00682) = 1.20$$

Ejemplo 3

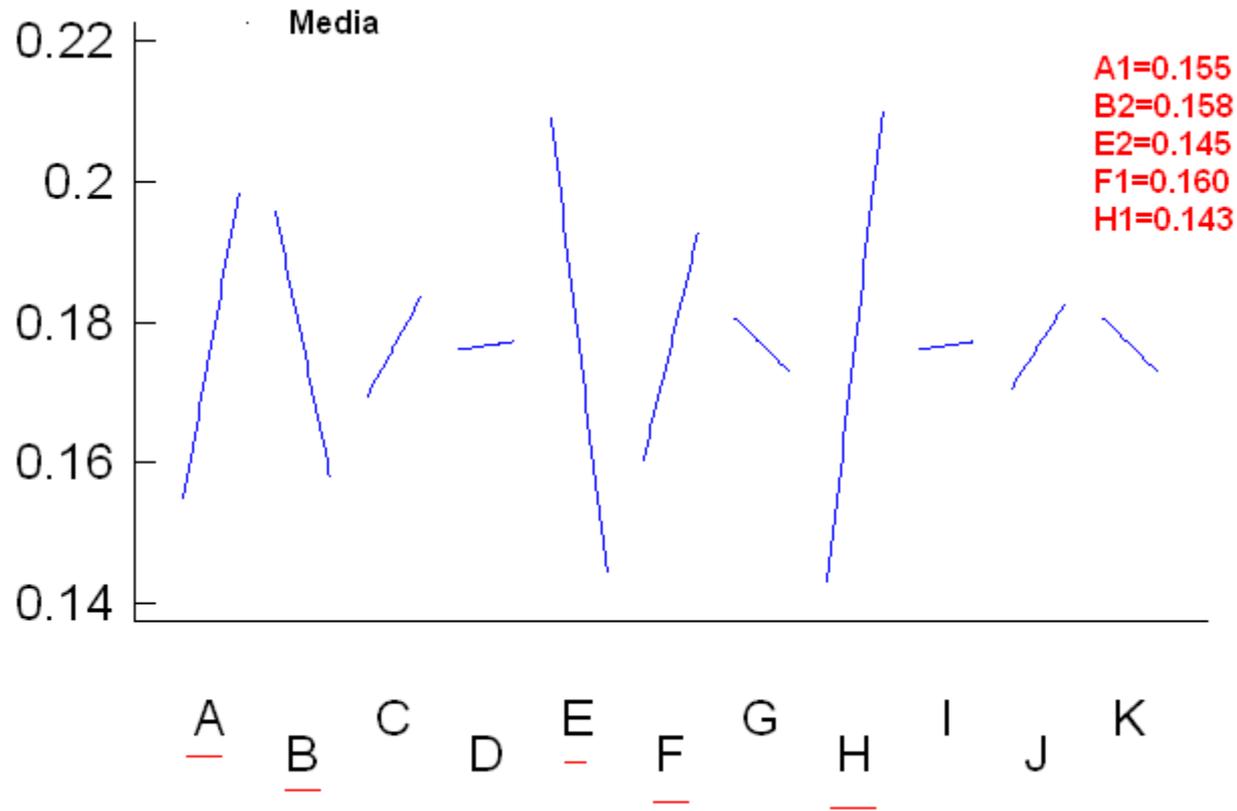
Primera Conclusión:

Se observa un ahorro $3.90 - 1.20 = 2.7$ por pieza.

Segunda Conclusión:

Si la empresa produce 2,000 piezas al mes el ahorro es de 5,400 pesos.

Comentarios adicionales



$$(Y)_{opt} = \bar{y} + (A_1 - \bar{y}) + (B_2 - \bar{y}) + (E_2 - \bar{y}) + (F_1 - \bar{y}) + (H_1 - \bar{y})$$

$$\bar{y} = 0.177, \quad Y_{op} = 0.041$$